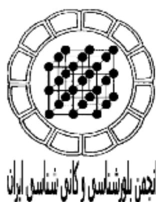
مجله
بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و نهم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۰، از صفحهٔ ۱۹۷ تا ۲۰۶



تعیین پراکندگی اندازه و شکل بلورهای پلاژیوکلاز و مدت اقامت آنها در توده آذرین چاه موسی (جنوب شاهرود)

عاطفه حسینی، مریم شیبی*

گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۱۲/۲۶، نسخه نهایی: ۹۹/۵/۱)

چکیده: به دلیل اهمیت بلورهای پلاژیوکلاز در بازسازی فرایندهای سردشدن ماگما، پراکندگی اندازه و شکل بلوری این کانی‌ها با استفاده از روش کمی پراکندگی اندازه بلور (CSD) برای توده نیمه عمیق چاه موسی (شمال غرب ترود، استان سمنان) بررسی شد. شیب نمودارهای CSD، لگاریتم طبیعی توزیع پراکندگی چگالی تراکمی بلور (n) نسبت به طول بلور (L)، نشان می‌دهد که درشت بلورهای پلاژیوکلاز در این توده آذرین دارای نرخ هسته‌بندی $۱٫۴×۱۰^{-۸}$ تا $۹٫۲۷×۱۰^{-۹}$ mm/s بوده و در گستره زمانی ۱۱۸٫۶۲ تا ۶۳۰٫۷ سال در آشیانه ماگمایی رشد کرده‌اند. مدت اقامت محاسبه شده با ماهیت نیمه‌عمیق نمونه‌های مورد بررسی همخوانی دارد. همچنین، نمودارهای CSD فرایند آمیختگی جمعیت بلوری را نشان می‌دهند و بیانگر دوره‌های متعدد تبلور در محفظه‌های ماگمایی متفاوت است. نتایج حضور دست کم دو جمعیت بلوری را نشان میدهند: درشت بلورهایی که طی سرد شدن مذاب تشکیل شده‌اند و آنهایی که طی برداشته شدن فشار با سرعت هسته‌بندی متفاوتی شکل گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: *پراکندگی اندازه بلور(CSD)؛ پلاژیوکلاز؛ چاه موسی.*

مقدمه

بافت سنگ‌های مختلف با نرخ سرد شدن، جریان سیال ها، ترکیب مایع، نرخ رشد و هسته‌بندی و ته‌نشینی یا شناوری بلورها کنترل می‌شود [۱]. در مجموع، نرخ رشد و هسته‌بندی بلور، انباشت بلور و جدایش، درشت‌شدگی، آمیختگی ماگمایی و ماگماهای چند خاستگاهی، فرایندهای سنگ‌شناسی نامیده می‌شوند که بویژه از بررسی‌های بافتی سنگ‌ها مشخص می‌شوند [۲]. با بررسی توزیع اندازه بلور در سه بعد (CSD)، رابطه بین اندازه بلور و چگالی تراکمی بلور تعیین شده و اطلاعات بسیاری از چگونگی تبلور سنگ‌ها به دست می‌آید. به منظور محاسبه پراکندگی اندازه بلور مارش و کشمن [۴،۳] نموداری براساس لگاریتم طبیعی چگالی تراکمی بلور (n) نسبت به طول بلور (L) طراحی کردند که در آن خط به دست امده CSD نامیده می‌شود. روش پراکندگی اندازه بلور به منظور برآورد شرایط فیزیکی تبلور، زمان تبلور و سهم حجمی بلورها، رشد و هسته‌بندی بلور، سرعت سردشدگی ماگما و شنایی مهمترین فرایندها طی انجماد به ویژه نقش نسبی جدایش، تراکم و درشت‌شدگی بافتی (بلوغ استوالد) و آمیختگی جمعیت‌های بلوری متفاوت در ماگما استفاده می‌شود [۶،۵]. از مهمترین پژوهش‌ها پیرامون CSD که در ایران انجام شده است می‌توان به کارهای مسعودی و همکاران [۷]، رییسی و همکاران [۸]، پورخرسندی و همکاران [۹]، زاد صالح و پورخرسندی [۱۰] و آیتی و مهدوری [۱۱] اشاره کرد. در این پژوهش، نتایج بررسی‌های کمّی بافت و توزیع اندازه بلورهای پلاژیوکلاز به منظور محاسبه مدت اقامت و سرعت هسته‌بندی آنها در توده نیمه عمیق چاه موسی (شمال غرب ترود) استفاده شده است. همچنین فرایندهای تکامل ماگمایی برپایه نتایج برآمده از نمودارهای CSD بررسی شده است.

توده نیمه عمیق و بیضوی شکل چاه‌موسی با مساحت $۳٫۴۵km^2$ در بخش شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی در

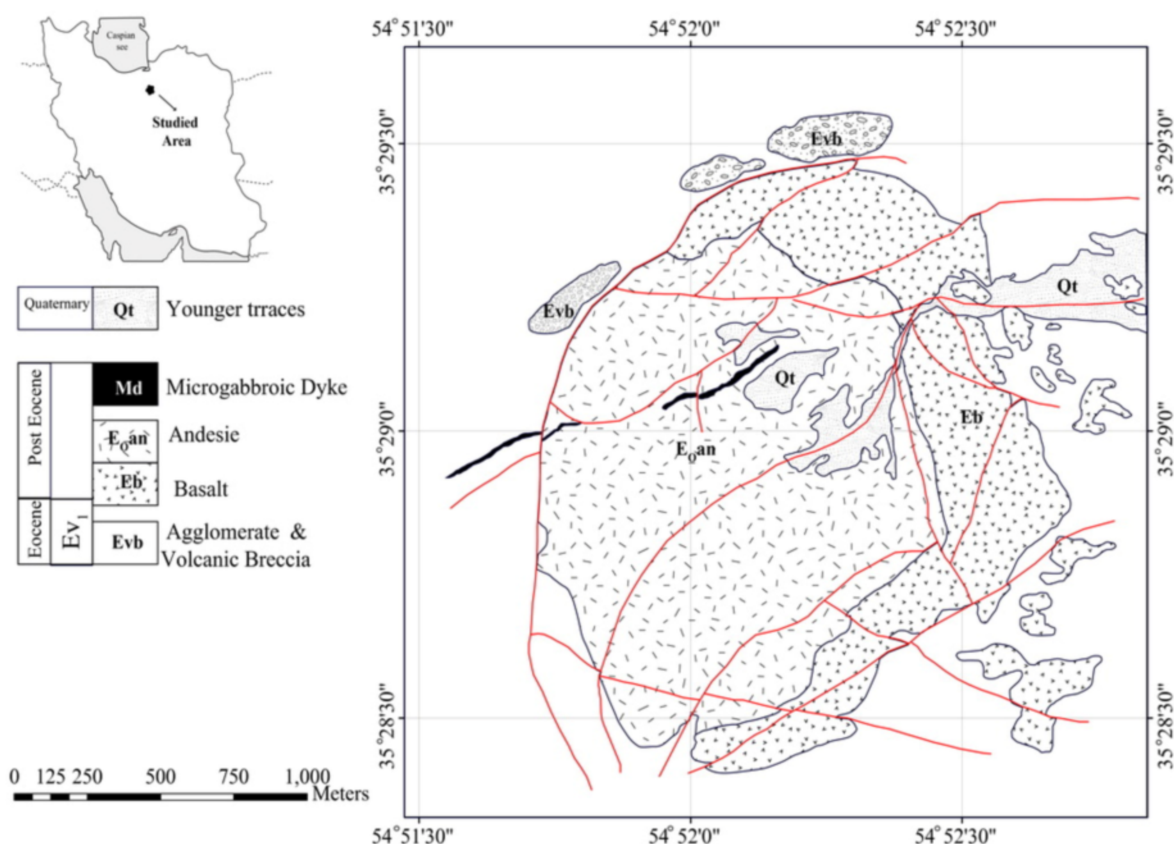
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۸۷۳۰۷۳۳، نمابر: ۳۲۳۹۶۰۰۷ (۲۳) ، پست الکترونیکی: sheibi@shahroodut.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.12.9]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.179]

نوار ماگمایی ترود - چاه شیرین قرار دارد. زمین شناسی این توده نیمه عمیق و سنگ‌های کنار آن بررسی شده است [۱۲، ۱۳]. بر اساس نتایج این بررسی‌ها زمین‌شناسی و به ویژه شواهد ساختاری موجود به نظر می‌رسد که توده نیمه عمیق چاه موسی با ترکیب غالب آندزیت پورفیری نخست با ترکیب در توالی آذرآواری ائوسن تزریق شده و سپس میزبان کانه‌زایی مس و دگرسانی‌های گرمابی متعددی شده است. بیشتر واحدهای سنگی ناحیه مورد بررسی را واحدهای آذرآواری-آتشفشانی ائوسن (E_{vb}) تشکیل می‌دهند (شکل ۱). این سنگ-ها دارای ماهیت آذرآواری هستند و از توف قرمز رنگ، کنگلومرا، جوش آتشفشانی و برش آتشفشانی تشکیل شده‌اند. در بخش‌های بالاتر این واحد، یک افق جوش آتشفشانی دیده می‌شود که قطعه‌های متنوع آذرین و رسوبی به ویژه قطعه‌های کاملا گردشده کربناتی در آن وجود دارند. بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی، ساختاری و ژئوشیمیایی، این سنگ‌ها در جایگاه زمین ساختی وابسته به فرورانش و در راستای یک کرانه فعال قاره‌ای با ماهیت آهکی قلیایی تشکیل شده‌اند [۱۲].

بر اساس نتایج بررسی‌های بافت مغناطیسی [۱۳] مشخص شد که توده نیمه عمیق مورد بررسی دارای ترکیب غالب آندزیت پورفیری بوده و در محل تماس واحد برش‌های آتشفشانی و توف‌های قرمز واحد آذرآواری-آتشفشانی ائوسن (E_{vb}) جایگیری نموده تزریق شده است. این توده از نظر ترکیب به دو دسته قابل تقسیم است. لبه شرقی این توده نیمه عمیق در صحرا رنگ تیره‌تری نسبت به سایر بخش‌ها دارد و ترکیب آن بازالتی است، در حالیکه بیشتر آن ترکیب غالب آندزیت دارد (شکل ۱). درشت بلورهای پلاژیوکلاز، سوزن‌های آمفیبول و مقادیر کمتر بیوتیت مهم‌ترین کانی‌های موجود در این سنگ‌ها هستند. در صحرا، اندازه این بلورها از بخش‌های لبه‌ای به سمت مرکز بزرگتر می‌شود. بررسی بافت مغناطیسی نشان می‌دهد که این توده نیمه عمیق در یک پهنه برشی راستالغز به روش بالونی شدن (تورم درجای مخزن) در شرایط زمین ساختی ترافشارشی جایگزین شده است [۱۳].

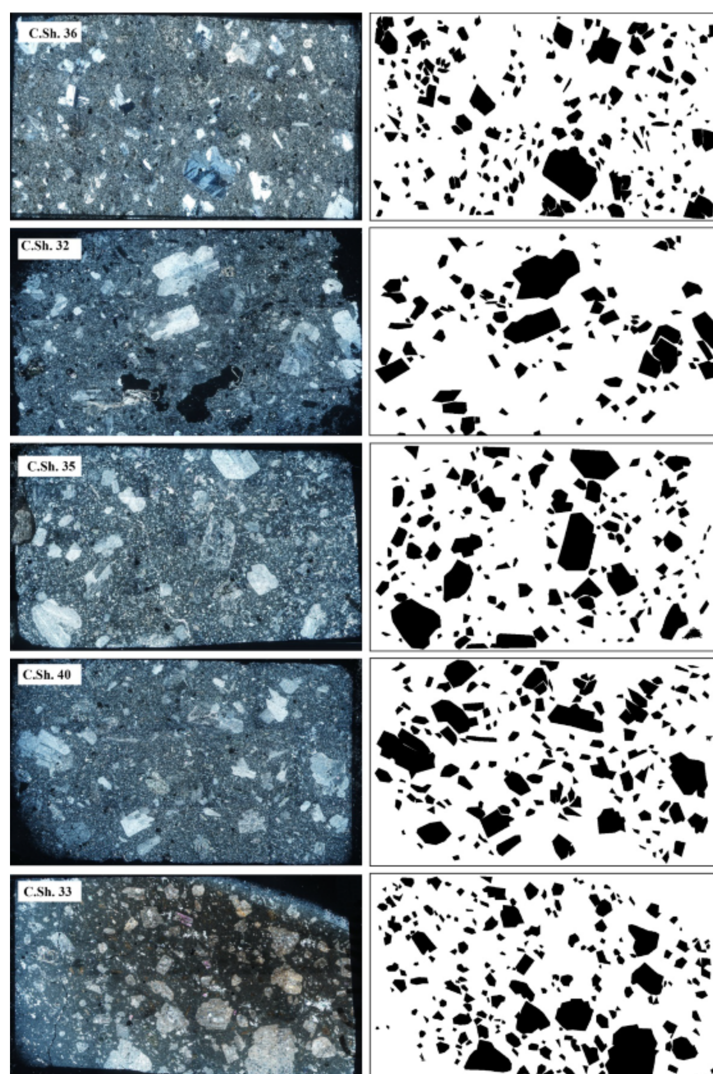


شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی توده نیمه عمیق چاه موسی و معرفی واحدهای سنگی رخنمون یافته.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.12.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.179]

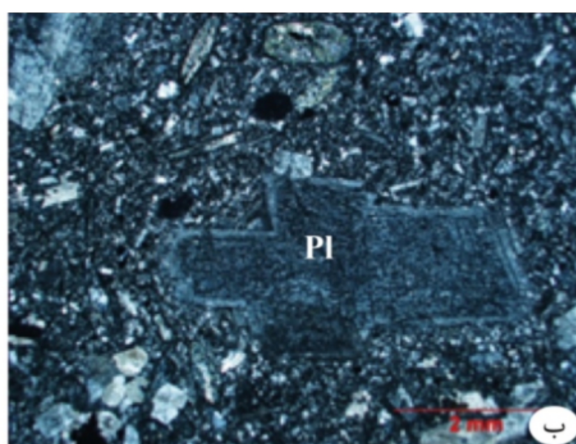
روش بررسی

به منظور تحلیل کمّی پراکندگی اندازه بلورهای پلاژیوکلاز، از بین بیش از ۸۰ نمونه سنگی برداشت شده از بخش‌های مختلف توده نیمه عمیق چاه موسی، ۶ نمونه از لبه و ۵ نمونه از بخش‌های مرکزی آن برای بررسی CSD انتخاب شدند. بافت‌-های موجود با استفاده از روش مرجع [۵] تحلیل شد. پس از تهیه و بررسی مقاطع نازک میکروسکوپی، تصاویر میکروسکوپی بسیاری با بزرگنمایی ۱٫۲۵X از هر مقطع تهیه شد. این تصاویر در نرم افزار Photoshop به صورت موزائیکی کنار هم قرار داده شده و تصاویری کلی از هر مقطع نازک سنگی آماده شد (شکل ۲). در ادامه با نرم‌افزار JmicroVision همه پلاژیوکلازهای موجود در هر مقطع به طور دستی رسم شده (شکل ۲) و داده‌های دوبعدی هر بلور (طول، عرض، مساحت و ...) استخراج شدند. با معرفی واحد و مقیاس هر تصویر میکروسکوپی در این نرم‌افزار، مساحت اندازه‌گیری شده کلی هر یک از تصاویر محاسبه شده است. در مرحله بعد، برای تبدیل داده‌های به دست آمده از دو بعد بلورهای پلاژیوکلاز در مقطع نازک به مقادیر واقعی سه بعدی آنها، از نرم‌افزار تخصصی CSD correction استفاده شد. برای محاسبه CSD براساس اندازه‌گیری‌-های 2D و CSD correction، میانگین شکل بلوری به صورت نسبت تصویر بلور S:I:L (به ترتیب محور کوچک، متوسط و بزرگ بهترین بیضی منطبق با بلور) بدست می‌آید [۱۴].

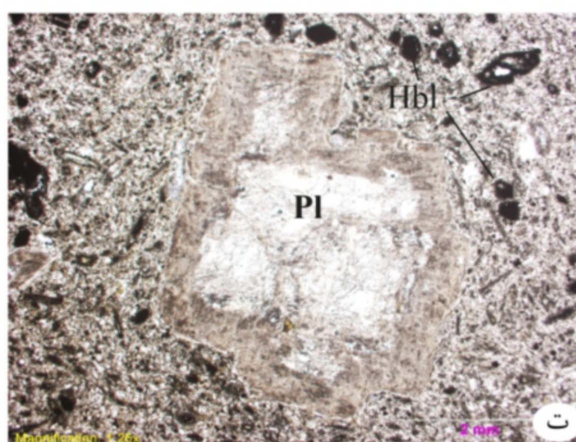


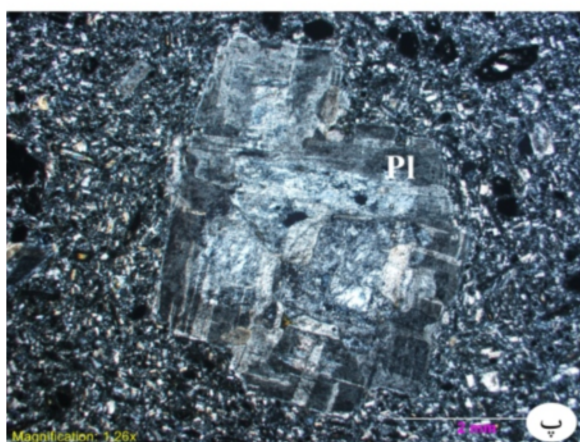
شکل۲ تصاویر موزائیکی شده (سمت چپ) و سیاه و سفید (سمت راست) تهیه شده از مقاطع نازک میکروسکوپی توده نیمه‌عمیق چاه‌موسی (X ۱٫۲۵). مقاطع در تیغه‌های شیشه‌ای ۲۵ در ۷۵ میلیمتر مربع تهیه شده‌اند.

نسبت ابعاد شکل فرضی (بهترین بیضی منطبق با بلور) برای بلورهای پلاژیوکلاز در هر یک از مقاطع بررسی شده با نرم‌افزار CSDslice به دست آمد. بهترین بیضی منطبق با بلور به عنوان مدل انتخابی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به شکل‌دار بودن بیشتر بلورها، میزان گردشدگی برای بلورهای پلاژیوکلاز مورد بررسی ۰/۳ در نظر گرفته شد که بیانگر شکلی بین بیضی و متوازی الاضلاع است. عامل شکل نیز متناسب با شکل بلورها (شکل‌های مکعبی ۱:۱:۱؛ منشوری ۱:۱:۱۰؛ تیغه‌ای ۱:۱۰:۱۰؛ صفحه‌ای ۱:۲:۵) تعیین شد. در پایان، طول و عرض همه بلورهای اندازه‌گیری شده در هر مقطع نازک (داده‌های دو بعدی هر بلور) در نرم افزار CSDslice فراخوانی شد و بهترین ابعاد بلوری و نمودار اندازه نسبت به چگالی تراکمی رسم گردید. یکای اندازه بلورها mm و برای چگالی انباشتی mm^{-4} است. در این پژوهش، نرخ رشد بلورهای پلاژیوکلاز 10^{-9} mm/s در نظر گرفته شد [۱۵] و زمان رشد و هسته‌بندی بلورها و میانگین زمان اقامت بلور با استفاده از رابطه مرجع [۱۶] تعیین شد. پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی این توده نیمه عمیق را تشکیل می‌دهد. این بلورها اغلب به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار هستند و اندازه آن‌ها از ۱ میلی‌متر در ریزسنگ‌ها تا بیش از یک سانتیمتر در درشت بلورها متغیر است (شکل‌های ۳ب و ث). پلاژیوکلازها به صورت مجزا و انباشت‌های گلومروپورفیری دیده می‌شوند. همچنین بافت‌های نا متعادل مانند بافت غربالی (شکل ۳ب)، ماکل مرکب و منطقه‌بندی ساده تا پیچیده (شکل‌های ۳ پ و ت) و یا روهمرشدی رورشدی در بلورهای پلاژیوکلاز فراوان دیده می‌شوند. همه این شواهد گواهی بر رشد چند مرحله‌ای و فرایند آمیختگی طی تبلور مخزن هستند.









شکل۳ الف- ساخت پورفیری در سنگ‌های آندزیتی توده نیمه عمیق چاه موسی. ب- بلور پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی عادی (لبه آلبیتی) و رویهمرشدی رورشدی؛ پ- بلور پلاژیوکلاز با ماکل مرکب و منطقه‌بندی پیچیده؛ ت- تصویر پ در نور طبیعی.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.12.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.179]

بحث و بررسی

فراوانی پلاژیوکلاز به دلیل ثبت تاریخچه فرایندهای ماگمایی برای استفاده از روش پراکندگی اندازه بلور مناسب است. همچنین وجود ماکل، منطقه‌بندی و رورشدی در پلاژیوکلاز می‌تواند برای اثبات شرایط آمیختگی ماگمایی و دیگر فرایندهای مخزن ماگمایی کاربرد داشته باشد. پردازش و تحلیل توزیع اندازه بلورهای پلاژیوکلاز برای ۱۱ نمونه از مقاطع نازک از مرکز و لبه توده مورد بررسی دربردارنده بلورهای قابل تشخیص و متمایز انجام شد. تصاویر مقاطع میکروسکوپی به همراه تصاویر دوتایی (سیاه و سفید) برای تعدادی از بلورهای پلاژیوکلاز نمونه‌های مورد بررسی در شکل ۲ آورده شده است.

نتایج بررسی توزیع ابعاد دو بعدی (طول و عرض) برای ۱۸۷۳ بلور پلاژیوکلاز اندازه‌گیری شده در مقایسه با نتایج استفاده از نمودار مرجع [۱۷] نشان می‌دهد که بیشتر بلورهای پلاژیوکلاز در گستره بلورهایی به شکل منشوری و تعداد کمی از آنها در گستره تیغه‌ای و تخته‌ای قرار دارند (جدول ۱ و شکل ۴). نمودار توزیع عرض/ طول دو بعدی برای هر نمونه (خط قرمز)، به همراه بهترین شکل پیشنهادی مناسب توسط CSDslice تعیین شد (شکل ۵).

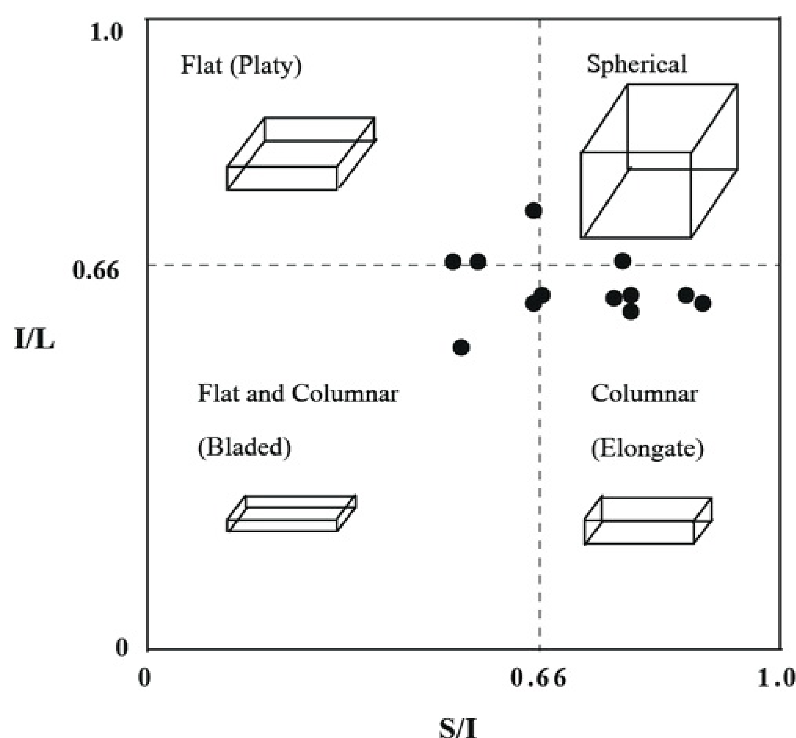
نمودارهای پراکندگی اندازه بلور (CSD): همه بررسی‌های CSD به تفسیر منحنی‌های به دست آمده در شرایط سرد شدن ماگما می‌پردازد. در شکل ۶، جمعیت‌های مختلف بلورهای پلاژیوکلاز و ارتباط آنها با منحنی‌های CSD نشان داده شده است [۱۸]. اگر منحنی CSD یک خط صاف و مستقیم باشد، فرایند سردشدن ساده ماگما را نشان می‌دهد و شکستگی و انحنا در نمودارهای CSD نشان دهنده دگرگونی در مخزن ماگمایی است [۱۶]. برای مثال، ورود یک ماگمای جدید به مخزن موجب تغییر در دما، نرخ رشد اولیه و هسته‌بندی بلورها می‌شود. همچنین شیب تند در نمودارهای CSD نشانگر نرخ هسته‌بندی و توقف کوتاه مدت و شیب کم بیانگر زمان توقف طولانی و سرعت هسته‌بندی آهسته‌تر در محفظه ماگمایی است [۱۶]. بلورهای درشت در عمق بیشتر و بلورهای کوچک‌تر در مناطق سطحی و با سرعت تبلور بالاتر رشد کرده‌اند. منحنی‌های غیر خطی CSD حضور دست‌کم دو جمعیت بلوری را نشان می‌دهند [۱۹].

جدول ۱ پارامترهای شکل بلورها به همراه نسبت محور کوچک به متوسط (S/I) و محور متوسط به بلند (I/L) برای بلورهای پلاژیوکلاز در نمونه-های سنگی مورد بررسی.

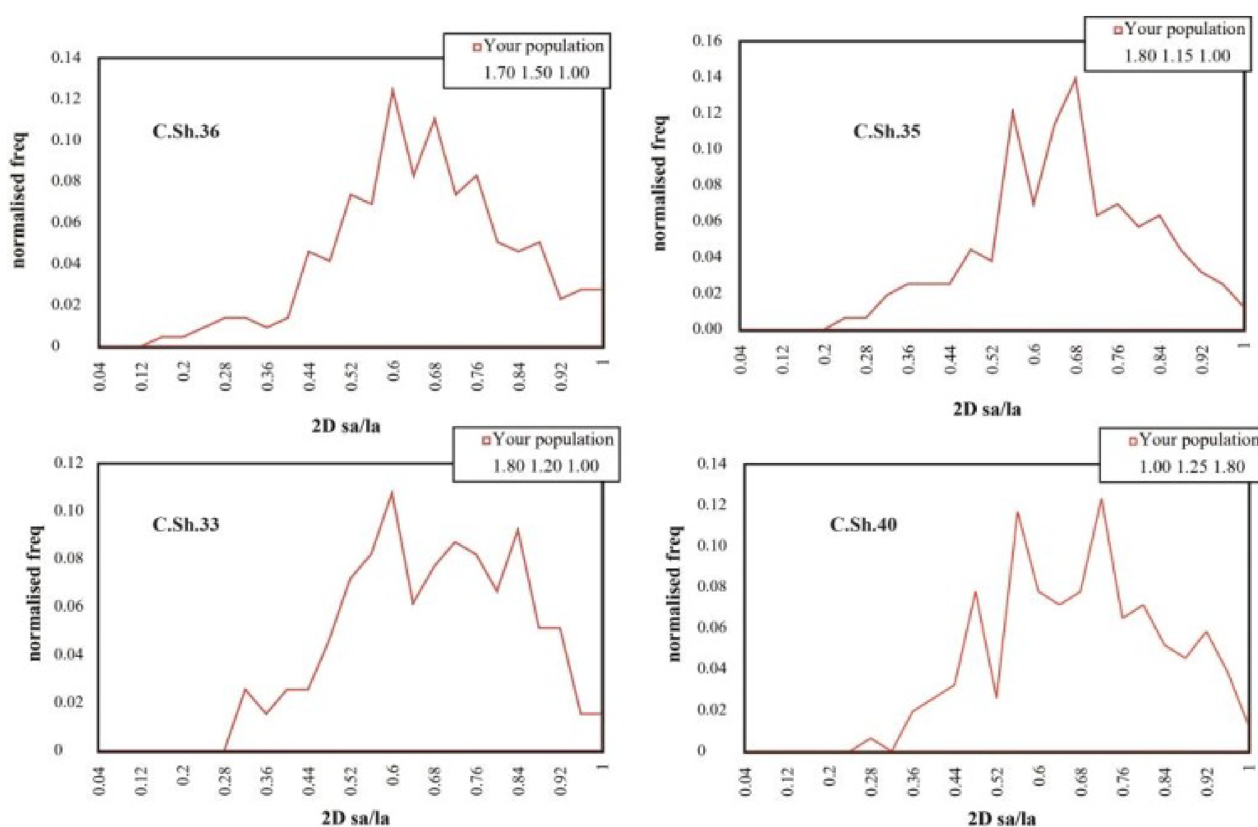
شکل بلور	I/L	S/I	ابعاد بلور	نمونه
منشوری	۰٫۶	۰٫۸	۱ ۱٫۲ ۱٫۸	CH۲۰
منشوری	۰٫۶	۰٫۹	۱ ۱٫۱ ۱٫۶	CH۲۱
تیغه‌ای	۰٫۷	۰٫۶	۱ ۱٫۵ ۲٫۱	CH۲۲
منشوری	۰٫۷	۰٫۸	۱ ۱٫۲ ۱٫۷	CH۲۳
منشوری	۰٫۶	۰٫۹	۱ ۱٫۱ ۱٫۶	CH۲۴
منشوری	۰٫۶	۰٫۷	۱ ۱٫۳ ۱٫۹	C.Sh۳۱
تخته‌ای	۰٫۸	۰٫۷	۱ ۱٫۴ ۱٫۷	C.Sh۳۲
منشوری	۰٫۶	۰٫۸	۱ ۱٫۲ ۱٫۸	C.Sh۳۳
منشوری	۰٫۶	۰٫۸	۱ ۱٫۱۵ ۱٫۸	C.Sh۳۵
تیغه‌ای	۰٫۸	۰٫۶	۱ ۱٫۵ ۱٫۷	C.Sh۳۶
تیغه‌ای	۰٫۵	۰٫۶	۱ ۱٫۵ ۲٫۶	C.Sh۴۰

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.12.9]

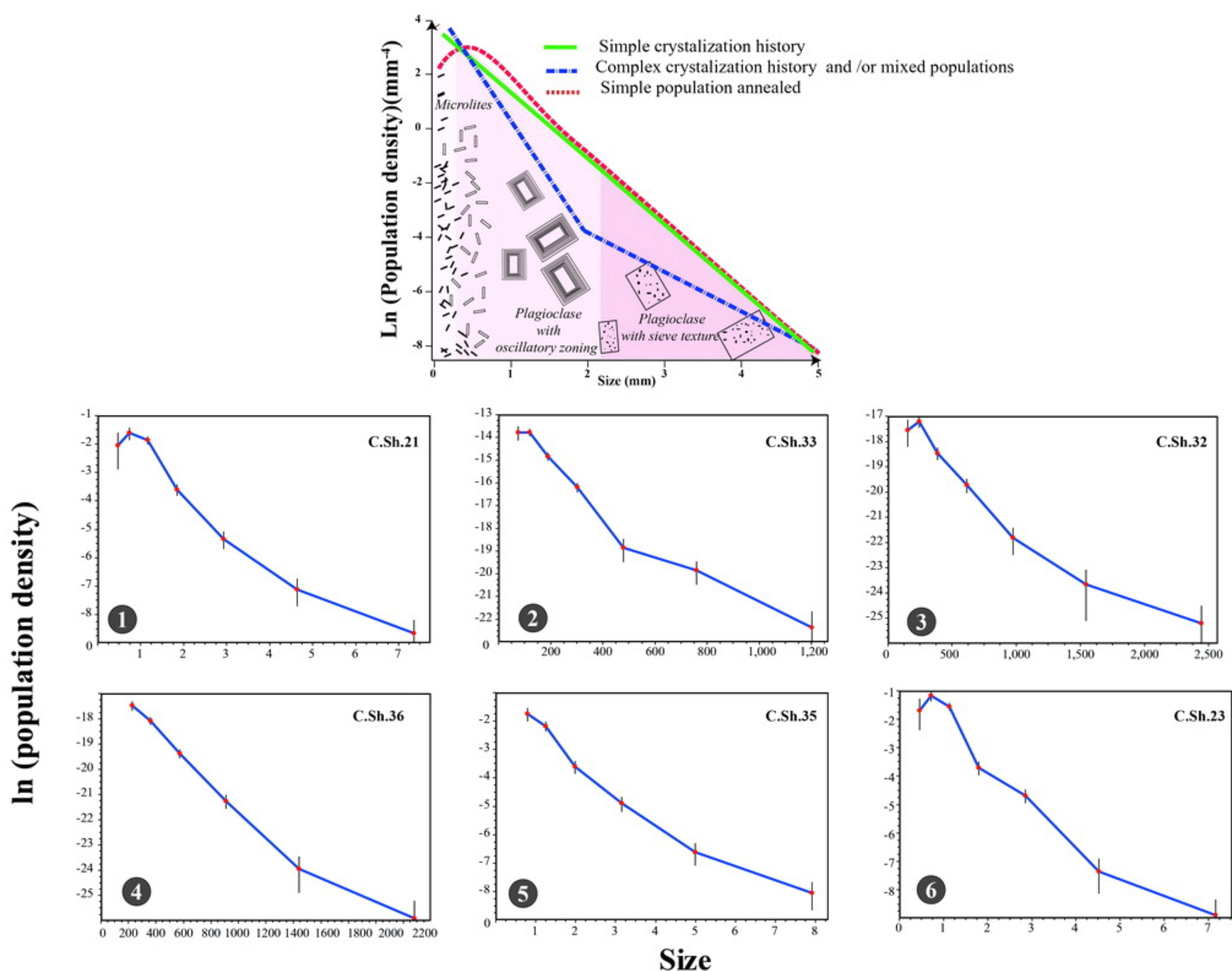
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.179]



شکل ۴ نمودار تعیین شکل سه بعدی بلورها، [۱۷] (S/I) محور کوتاه به محور متوسط و(I/L) محور متوسط به محور بلند.



شکل۵ نمودارهای عرض به طول نسبت به فراوانی رسم شده در نرم افزار CSDslice برای تعیین شکل دو بعدی بلورهای پلاژیوکلاز برخی از مقاطع مورد بررسی.



شکل۶ الف) نمودار تغییرات فراوانی و اندازه بلورها به صورت تابعی از زمان اقامت آنها [۱۳-۱۸]. که شیب منحنی CSD متناسب با تاریخچه تبلور تغییر می‌کند. ب) برخی از نمودارهای CSD رسم شده برای نمونه‌های آندزیتی توده نیمه عمیق چاه موسی.

نمودارهای CSD رسم شده برای همه ۱۱ نمونه مورد بررسی صرف نظر از محل برداشت (مرکز یا لبه توده آذرین چاه موسی) بسیار شبیه هستند (شکل ۶). به جز نمونه شماره C.SH۳۶، منحنی سایر نمودارها تقعر به سمت بالا دارد. که می‌تواند نشان‌دهنده هر یک از فرایندهای جدایش بلور طی تبلور، انباشت، افزایش تبلور، انباشت بلورهای کوچک و یا آمیختگی ماگمایی و جمعیت‌های بلوری باشد [۱۳، ۱۵]. بر اساس بررسی های تجربی، تقعر رو به بالا نمی‌تواند نتیجه تغییر در نرخ سرد شدن ماگما، انباشت بلوری و یا آمیختگی ماگمایی در ماگماهای طبیعی باشد [۱۵]. بلکه، این انحنا می‌تواند نشانه حضور دو جمعیت بلوری باشد که طی برداشته شدن فشار همراه با نظام‌های هسته‌بندی جداگانه‌ای تشکیل شده‌اند [۱۵]. بالاآمدگی مشخص سمت چپ نمودار برای نمونه‌هایی چون ۲۱ و ۲۳ می‌تواند به دلیل درشت شدگی در اثر بالا بودن نرخ رشد بلوری باشد [۱۴]. وجود درشت بلورها و ریزسنگ‌ها در مقاطع مورد بررسی نشانگر شرایط متفاوت تبلور و تنوع بافتی است.

شکستگی موجود در برخی از نمودارهای CSD مقاطع بررسی شده نشان می‌دهد که روند تبلور و انجماد بلورها عادی نبوده و سردشدگی ماگما هم زمان با نوسان‌هایی در شرایط فیزیکی آن به رخ داده است. شیب متفاوت نمودارهای CSD برای بلورهای با ابعاد مختلف (جدول ۲) نشان می‌دهند که این بلورها دست کم در چند مرحله متبلور شده‌اند. مقایسه نمودارهای CSD نمونه‌های آندزیتی مورد بررسی با مدل‌های CSD استاندارد [۱۸] پیشنهاد می‌کند که این نمودارها به دلیل تغییرات قابل

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.12.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.179]

ملاحظه در شیب و تقعر به سمت بالا، شواهدی از جمعیت بلوری آمیخته دارند. این فرایند می‌تواند نشان دهنده دوره‌های متعدد توقف و تبلور در محفظه‌های ماگمایی متفاوت و درشت شدگی بلوری طی صعود ماگما باشد. جمع‌بندی شواهد بافتی و نتایج به دست آمده از تحلیل نمودارهای پراکندگی اندازه بلورهای پلاژیوکلاز (CSD) در منطقه چاه موسی نشانگر نوعی ناپایداری و عدم تعادل در محیط انجماد و تبلور نهایی ماگماست. منطقه‌بندی در پلاژیوکلاز نشان دهنده رشد و انحلال بلور بوده که ممکن است توسط تغییر در سرعت هسته‌بندی یا تغییر در ترکیب شیمیایی آن به دلیل پرشدن و خالی‌شدن دوره‌ای آشیانه ماگمایی و با آمیختگی ماگمایی صورت گرفته باشد.

برآورد زمان رشد و سرعت هسته‌بندی: با اندازه‌گیری ابعاد بلورها می‌توان سرعت رشد و هسته‌بندی (مدت رشد) بلور را محاسبه کرد. در شرایط عادی تبلور انتظار می‌رود که با رشد بلورها و بزرگتر شدن آنها، هسته‌بندی و چگالی انباشتی کاهش یافته و نمودار CSD شیب منفی داشته باشد. این در حالی است که با ورود یک ماگمای جدید به مخزن و آمیختگی ماگمایی، اشباع-شدگی در نتیجه هسته‌بندی و تراکم در اثر متبلور شدن بلورهای دانه ریز افزایش می‌یابد که این امر باعث ایجاد شیب مثبت و شکستگی در منحنی CSD می‌شود. در این پژوهش، میانگین ابعاد شکل انتخابی برای بلورهای پلاژیوکلاز، مدت اقامت ماگما در محفظه ماگمایی و سرعت هسته‌بندی مربوط به هر نمونه نرم‌افزار CSDcorrection محاسبه شد. سرعت هسته‌بندی بر اساس رابطه $J=n_0G$ محاسبه گردید که در آن، G میانگین نرخ رشد خطی و n_0 چگالی هسته‌بندی در نقطه‌ای است که L به صفر میل می‌کند. مدت اقامت بلورهای پلاژیوکلاز در محفظه ماگمایی و سرعت هسته‌بندی آنها که بر اساس شیب و عرض از مبدا برای هر یک از نمودارهای توزیع اندازه بلور محاسبه شد در جدول ۲ آورده شده است.

شیب خطها با میانگین زمان اقامت بلور در سامانه ارتباط دارد و با استفاده از رابطه $TR = -1/G * m * 31536000$ [۱۶] تعیین شد. در این رابطه، t زمان اقامت بلور در مخزن ماگما بر حسب سال، G نرخ رشد بلور بر حسب میلیمتر بر ثانیه، m شیب نمودار و عدد ۳۱۵۳۶۰۰۰ برای تبدیل یکای ثانیه به سال است. نتایج نشان می‌دهد که مدت رشد بلورهای پلاژیوکلاز و سرعت هسته‌بندی آنها در توده نیمه عمیق چاه موسی به ترتیب برابر با ۱۱۸٫۶ تا ۶۳۰٫۷ سال و $۱٫۵\times۱۰^{-۹}$ تا $۹٫۲۷\times۱۰^{-۹}$ mm/s است. زمان کمتر از ۱۰۰۰ سال است و با تبلور بلورهای پلاژیوکلاز در اعماق کم پوسته و ماهیت نیمه عمیق توده آذرین چاه موسی همخوانی دارد.

جدول۲ شیب، عرض از مبدا و نرخ هسته‌بندی و زمان رشد برای هریک از نمودارهای CSD رسم شده

نمونه	شیب	عرض از مبداء	نرخ هسته بندی mms^{-1}	زمان رشد Year
CH۲۰	-۱٫۰۵	-۱٫۵۰	$۱٫۵\times۱۰^{-۹}$	۳۳۱٫۱۲
CH۲۱	-۱٫۳۵	-۰٫۶۲	$۶٫۲\times۱۰^{-۱۰}$	۴۲۵٫۷
CH۲۲	-۰٫۰۲	-۹٫۲۷	$۹٫۲۷\times۱۰^{-۹}$	۶۳۰٫۷
CH۲۳	-۱٫۵۵	-۰٫۰۷	۷×۱۰^{-۱۱}	۴۸۸٫۸
CH۲۴	-۱٫۴۴	-۰٫۴۸	$۴٫۸\times۱۰^{-۹}$	۴۵۴٫۱
C.Sh۳۱	-۱٫۳۴	-۰٫۶۵	$۶٫۵\times۱۰^{-۹}$	۴۲۴
C.Sh۳۲	-۰٫۹۳۵	-۱٫۷۸	$۱٫۷۸\times۱۰^{-۹}$	۲۹۶٫۴۸
C.Sh۳۳	-۳۶٫۵۹	۱۵٫۰۸	$۱٫۵\times۱۰^{-۹}$	۱۲۸٫۹۱
C.Sh۳۵	-۱٫۰۲	-۱٫۱۸	$۱٫۱۸\times۱۰^{-۹}$	۳۲۱٫۶
C.Sh۳۶	-۰٫۰۰۵	-۱۶٫۱۴	$۱٫۶\times۱۰^{-۸}$	۱۷۶٫۶
C.Sh۴۰	-۳۳٫۶۷	۱۴٫۹۷	$۱٫۴\times۱۰^{-۹}$	۱۱۸٫۶

برداشت

نتایج به دست آمده از بررسی پراکندگی اندازه بلور (CSD) در توده نیمه عمیق چاه موسی نشان می‌دهد که بیشتر بلورهای پلاژیوکلاز دارای شکل منشوری هستند و تغییر در اندازه طول آنها بیشتر از عرض است. همچنین مدت رشد بلورهای پلاژیوکلاز و سرعت هسته‌بندی به ترتیب برابر با ۱۱۸٫۶ تا ۶۳۰٫۷ سال و $۱٫۵×۱۰^{-۹}$ تا $۹٫۲۷×۱۰^{-۹}$ mm/s است. شکستگی موجود در نمودارهای CSD مقاطع بررسی شده نشان می‌دهد که روند تبلور و انجماد بلورها، عادی نبوده و سردشدگی ماگما هم زمان با نوسان‌هایی در شرایط فیزیکی آن رخ داده است. شیب متغیر نمودارهای CSD برای بلورهای با ابعاد متفاوت نشان می‌دهند که این بلورها دست کم در چند مرحله متبلور شده‌اند. این امر باتوجه به همیافتی درشت بلورها و ریزسنگ‌ها در مقاطع نازک میکروسکوپی تایید می‌شود. حضور جمعیت‌های بلوری مختلف نشان دهنده دوره‌های متعدد توقف و تبلور در محفظه‌های ماگمایی متفاوت در مسیر صعود ماگما به سطح زمین است. وجود بافت‌های گلومروپورفیری، غربالی و منطقه‌بندی در بلورهای پلاژیوکلاز در توده نیمه عمیق چاه موسی نشانگر نوعی ناپایداری و عدم تعادل در محیط انجماد و تبلور نهایی ماگماست.

قدردانی

نویسندگان مقاله از آقایان دکتر داوود رئیسی و مهندس محسن زادصالح به دلیل در اختیار گذاشتن نرم افزارهای لازم و راهنمایی‌های ارزشمند ایشان کمال تشکر را دارند.

مراجع

[1] Lofgren G. E., *"The effect of nucleation on the basaltic textures. Abstracts with programs*, Geolgical Society of America, 11 (1979)467-468.

[2] Higgins M. D., Roberge J., *"Three magmatic components in the 1973 eruption of Eldfell volcano, Iceland: Evidence from plagioclase crystal size distribution (CSD) and geochemistry,* Journal of Volcanology and Geothermal Research, 161 (2007) 247–260.

[3] Marsh B., *"Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization I*", Theory Contributions to Mineralogy and Petrology, 99 (1988) 277–291.

[4] Cashman K.V., Marsh B.D., *"Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization II. Makaopuhi Lava Lake*", Contributions to Mineralogy and Petrology, 92 (1988) 292-305.

[5] Higgins M.D., *"Quantitative textural measurement in igneous and metamorphic petrology*, Cambridge University Press, United States of America (2006).

[6] Driscoll B.O., Donaldson C.H. Troll, V.R. Jerram, D.A. Emeleus, H., *"An origin for harrisitic and granular olivine in the rum layered suite, NW Scotland: a crystal size distribution study*", Journal of Petrology, 48 (2007) 253-270.

[7] Masoudi F., Ghorbani M., Rahimzadeh B., 2009 , "*Study of physical conditions and magmatic evolution of volcanic rocks in East Of Qazvin"*, Iranian Journal Of Geology 3, Number 11, 67 – 75.

[8] Raeisi D., Dargahi S., Moeinzadeh H., Arvin M., *"Using Numerical Modeling for Estimation of Rate of Nucleation and Growth Time of Plagioclase Microlites from Quaternary Gandom Beriyan Basaltic Flows*", NE of Kerman. Journal of Geoscience, 22(85) (2012) 199-204. doi: 10.22071/gsj.2012.54042

[9] Pourkhorsandi H., Mirnejad H., Raiesi D., Hassanzadeh J., *"Crystal size and shape distribution systematics of plagioclase and the determination of crystal residence times in the micromonzogabbros of Qisir Dagh, SE of Sabalan volcano (NW Iran)*, Geologica Carpathica, 66, 4 (2015) 257-268 doi: 10.1515/geoca-2015-0024.

[10] Zadsaleh M., Pourkhorsandi H., *"Quantitative textural investigation of trachyandesites of Damavand volcano (N Iran): Insights into the magmatic processes*", Journal of African earth sciences120 (2016) 238-247.

[11] Ayati F., Mahdevari S., *"Investigation of crystal size distribution in igneous rocks: Guide to the magma evolution in magma chambers*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 18 (3) (2010) 419-430.

[12] Imamjome A., Rastad E., Bouzari F., Rashidnezhad N., *"An introduction to individual disseminated veinlet and vein mineralization system of Cu (Pb–Zn) in the Chah Musa and Gholle [1] Kaftaran mining district*, eastern part of the Troud-Chah Shirin magmatic arc, Geosciences, Scientific Quarterly Journal, 18, 112-125 (in Persian) (2009).

[13] Seifivand A., Sheibi, *"Ballooning emplacement and alteration of the Chah-Musa subvolcanic intrusion (NE Iran) inferred from magnetic susceptibility and fabric*", Geological

[17] Zingg T., *"Contribution to the gravel analysis (Beitrag zur Schotteranalyse)*", Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 15 (1998) 38–140.
[18] Zadsaleh M., Pourkhorsandi H., *"Quantitative textural investigation of trachyandesites of Damavand volcano (N Iran): insights into the magmatic processes*", Journal of African Earth Sciences, 120 (2016) 238-247.
[19] Vinet N., Higgins M. D., *"Magma Solidification Processes beneath Kilauea volcano, Hawaii: A Quantitative Textural and Geochemical Study of the 1969-1974 Mauna Ulu Lavas*", Journal of Petrology, 6 (2010) 1297-1332.
Magazine (2019) doi:org/10.1017/S0016756819001158.
[14] Higgins M.D., *"Measurement of crystal size distributions*", American Mineralogist 85 (2000) 1105- 1116.
[15] Bruger C.R., Hammer J.E., *"Crystal size distribution analysis of plagioclase in experimentally decompressed hydrous rhyodasite magma",* Earth and Planetary Science Letters, 300 (2010) 246-254.
[16] Marsh B. D., *"On the interpretation of crystal size distribution in magmatic systems*", Journal of Petrology, 39 (1998) 553-599.